

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08286054

PUBLICATION DATE : 01-11-96

APPLICATION DATE : 13-04-95

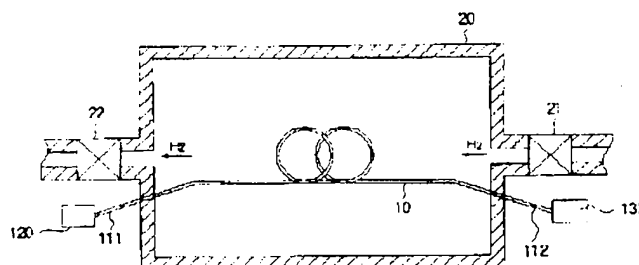
APPLICATION NUMBER : 07088331

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : MOBARA MASAICHI;

INT.CL. : G02B 6/10 G02B 5/18 G02B 6/16

TITLE : PRODUCTION OF OPTICAL  
WAVEGUIDE TYPE DIFFRACTION  
GRATING



ABSTRACT : PURPOSE: To provide a process for producing a fiber type diffraction grating which increases the reflectivity to the light components of specific wavelength.

CONSTITUTION: An optical fiber 10 is installed in a furnace core tube 20. The transmission loss in the optical fiber 10 of light of a wavelength =  $1.24\mu\text{m}$  outputted from a light source 120 is measured in accordance with the light intensity measurement with a photodetector 130. Gaseous hydrogen ( $\text{H}_2$ ) is made to flow from a valve 21 side toward a valve 22 and a high temp. or high pressure state is maintained in the furnace core tube 20 while measuring the added hydrogen concn. A desired change in refractive index is induced in the irradiated region by irradiating the optical waveguide added with the hydrogen by the desired quantity with UV light.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-286054

(43) 公開日 平成8年(1996)11月1日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

G 0 2 B 6/10

G 0 2 B 6/10

C

5/18

5/18

6/16

6/16

審査請求 未請求 請求項の数 5 ○ L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平7-88331

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(22) 出願日

平成7年(1995)4月13日

(72) 発明者 稲井 麻紀

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 伊藤 貞澄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 榎本 正

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(71) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

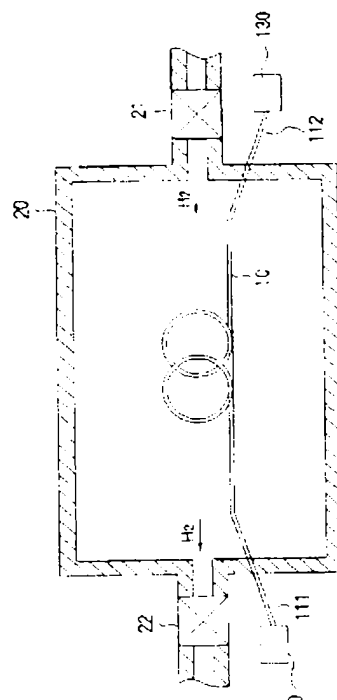
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路型回折格子の作製方法

(57) 【要約】

【目的】 特定波長の光成分に対する反射率を増大させるファイバ型回折格子の作製方法を提供する。

【構成】 炉心管20内に光ファイバ10を設置し、光源120から出力された波長 $\lambda = 1.24 \mu\text{m}$ の光の光ファイバ10での伝送損失を光検出器130での光強度測定に基づいて測定し、添加水素濃度を測定しながら、バルブ21側からバルブ22に向かって水素(H<sub>2</sub>)ガスを流入すると共に、炉心管20内を高温または高圧な状態にする。こうして、所望の量だけ水素が添加された光導波路に、紫外光を照射することにより照射領域で所望の屈折率変化を生させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 添加水素濃度を監視しながら、光導波路のコア部に水素を添加する第1の工程と、前記添加水素濃度の監視の結果、前記添加水素濃度が所定濃度に達した後、水素添加を中止し、光導波路の所定領域の前記コア部に紫外光を照射して、前記所定領域のコア部の屈折率を変化させる第2の工程と、を備えることを特徴とする光導波路型回折格子の作製方法。

【請求項2】 前記第1の工程における前記添加水素濃度の監視は、前記光導波路を伝搬する波長が1.24  $\mu$ mの光の吸収量を測定することにより行うことを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子の作製方法。

【請求項3】 前記第1の工程は、前記光導波路を水素雰囲気中で還元処理する工程であることを特徴とする請求項1記載の光導波路型回折格子の作製方法。

【請求項4】 前記第1の工程における前記光導波路の還元処理は、前記水素雰囲気中で該光導波路を加熱して行うことを特徴とする請求項3記載の光導波路型回折格子の作製方法。

【請求項5】 前記第1の工程における前記光導波路の還元処理は、前記水素雰囲気中で該光導波路を加圧して行うことを特徴とする請求項3記載の光導波路型回折格子の作製方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光導波路のコア部の屈折率を光軸に沿って周期的に変化させて回折格子を形成する光導波路型回折格子の作製方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、光ファイバ通信技術の進展に伴い、ネットワークの複雑化や信号波長の多重化などが進行し、システム構成は高度化しつつある。このような光通信システムでは、光回路素子の重要性が増大している。

【0003】 光回路素子における一般的構成の一つとしてファイバ型素子は、小型で挿入損失が小さいことや、光ファイバとの接続が容易であること等の利点を有している。そして、このようなファイバ型素子として、ファイバ型フィルターが知られている。

【0004】 最近では、コア部に酸化ゲルマニウムをドープした石英系光ファイバについて、紫外光照射によってコア部の屈折率が増加するという知見が周知であり、このような光誘起屈折率変化を利用したファイバ型フィルターとして、光ファイバ型回折格子が研究開発されている。

【0005】 この光ファイバ型回折格子は、光ファイバ内を進行する光のうち特定波長の光成分を反射するものであり、一般に、紫外光の照射によって光ファイバのコ

ア部に屈折率が光軸に沿って周期的に変化した領域を形成することにより作製されている。この作製方法には、信頼性の高い光ファイバ型回折格子を生産性良く作製することができるという利点がある。

【0006】 このような光ファイバ型回折格子においては反射率Rが重要な特性であり、この反射率Rは、グレーティング長（コア部の屈折率が光軸に沿って周期的に変化した領域の長さ）と光誘起による屈折率の変化量に依存する。この関係は、次式のように表される。

$$10 \quad 【0007】 R = \tanh^2 \left( \frac{L \pi \Delta n}{\lambda} \right)$$

ここで、Rは反射率、Lはグレーティング長、 $\Delta n$ は光誘起による屈折率の変化量、 $\lambda$ は反射波長である。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 紫外光照射による屈折率変化は、コア部のガラス中に存在するゲルマニウム関連のガラス欠陥に起因することが知られている。しかし、従来のような酸化ゲルマニウムをコア部にドープしただけのガラス光ファイバたとえば、通常の通信用光ファイバではガラス欠陥の数が少ないため、紫外光を照射しても屈折率変化量 $\Delta n$ が小さく、したがって、上記の式から明らかなように反射率も低い。具体的に言えば、紫外光照射によるコア部の屈折率変化は10%程度であり、反射率は数%と過小である。

【0009】 反射率を高くするためには、上記の式が示すようにグレーティング長Lを大きくする方法もあるが、紫外光レーザービームを照射するにあたって、レーザービームに高い均一性が要求され、そのために紫外光照射を行う光学系が複雑になるという問題点がある。また、ガラス欠陥が少ないため、紫外光照射による屈折率変化の速度が遅く、反射率を高くしようとすると、照射時間が長くなって生産性が低下するという問題点がある。

【0010】 上記のような問題点は、光ファイバのみならず薄膜導波路のような光導波路に回折格子領域を形成して光導波路型素子を作製する場合にも同様に存在する。

【0011】 本発明は、光ファイバや薄膜導波路のような光導波路について存在する上記の問題点を鑑みながら、反射率の高い光導波路型回折格子を容易に、生産性良く作製する方法、及びこの方法に用いる回折格子作製用の光導波路を提供することを目的とする。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る光導波路型回折格子の作製方法は、上記の目的を達成するために、

(a) 添加水素濃度を監視しながら、光導波路のコア部に水素を添加する第1の工程と、(b) 添加水素濃度の監視の結果、添加水素濃度が所定濃度に達した後、水素添加を中止し、光導波路の所定領域のコア部に紫外光を照射して、所定領域のコア部の屈折率を変化させる第2の工程と、を備えることを特徴とする。

【0013】 ここで、光導波路とは、コアとクラッドと

の屈折率差を利用して光を一定領域に閉じ込めて伝送する回路または線路をいい、これには光ファイバや薄膜導波路等が含まれる。

【0014】上記第1の工程における添加水素濃度の監視は、光導波路を伝搬する波長が $1.24\mu\text{m}$ の光の吸収量を測定することにより行うことを特徴としてもよい。

【0015】上記第1の工程は、光導波路を水素雰囲気で還元処理する工程とすることができる。

【0016】また、光導波路の還元処理は、水素雰囲気10で光導波路を加圧して行うことができる。そのときの光導波路の加圧圧力は、 $20\sim 300\text{atm}$ であることが望ましい。

【0017】上記第1の工程により光導波路に添加される水素の濃度は、 $500\text{ppm}$ 以上であると良い。このとき、第1の工程は、水素雰囲気中で光導波路を $4.17\text{atm}$ 以上の圧力で加圧する工程とすると良い。

【0018】また、上記光導波路のコア部は、石英ガラスに酸化ゲルマニウムをドーピングして形成されていることが望ましい。

【0019】上記第2の工程における紫外光の照射は、紫外光を干渉させて生じた干渉縞をコア部の所定領域に照射して行うことができる。なお、紫外光の干渉縞は、紫外光を2つの分岐光に分岐し、一方の分岐光をコア部の軸方向に対して第1角度で所定領域に照射すると共に、他方の分岐光をコア部の軸方向に対して第1角度の補角となる第2角度で所定領域に照射して形成される。また、紫外光の干渉縞は、所定周期で配列された格子を有する位相格子を光ファイバに隣接して設置し、紫外光を位相格子の面方向に対して所定角度で照射して形成されるものでも良い。

【0020】

【作用】酸化ゲルマニウムをドーピングした石英ガラス系の光導波路において、紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、重要な原因として、ゲルマニウムに関連した酸素欠損型の欠陥が考えられており、このような欠陥として $\text{Si}-\text{Ge}$ または $\text{Ge}-\text{Ge}$ などの中性酸素モノ空孔が想定されている。このような屈折率変化のメカニズムに関しては、文献「1993年電子情報通信学会春季大会、C-243, p.4-279」などに記載されている。

【0021】本出願の発明者らは、酸化ゲルマニウムをドーピングした石英系の光導波路に通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥を増大させることにより、紫外光照射による屈折率変化が増大するであろうと推定した。そして、光導波路内に存在するゲルマニウムに関連した酸素欠損型の欠陥を増大するためには、光導波路を水素雰囲気中で還元処理することが有効であることを見出した。

【0022】光導波路を水素雰囲気中で還元処理すること

知見によれば、水素が添加された光導波路に紫外光が照射されると、添加水素が光導波路材料中のゲルマニウム、シリカ、酸素と反応して、 $\text{Ge}-\text{H}$ 、 $\text{Ge}-\text{OH}$ 、 $\text{Si}-\text{H}$ 、 $\text{Si}-\text{OH}$ という新たな結合を形成し、これらの結合が屈折率変化を高める。

【0023】また、本出願の発明者らは、水素の添加濃度に応じて同一時間、同一光量の紫外光の照射によって屈折率変化量が異なることを見出した。

【0024】本発明に係る光導波路型回折格子の作製方法によれば、第1の工程において、添加水素濃度を監視しながら、光導波路のコア部に水素が添加される。このとき、光導波路を構成する石英( $\text{SiO}_2$ )や、これにドーピングされている酸化ゲルマニウム( $\text{GeO}_2$ )が全体的に還元され易くなり、 $\text{Ge}$ や $\text{Si}$ と結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生すると推察される。結合酸素が一部取り除かれた $\text{Ge}$ や $\text{Si}$ が結合しあえば、 $\text{Si}-\text{Ge}$ または $\text{Ge}-\text{Ge}$ などの中性酸素モノ空孔、すなわち酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなる。これにより、光導波路のコア部における酸素欠損型の欠陥20が増大し、紫外光照射による屈折率変化が高まる。

【0025】続いて、第2の工程において、紫外光がコア部における複数の所定領域に照射されると、添加水素がコア部のゲルマニウム、シリカ、酸素と反応して、 $\text{Ge}-\text{H}$ 、 $\text{Ge}-\text{OH}$ 、 $\text{Si}-\text{H}$ 、 $\text{Si}-\text{OH}$ という結合が形成され、これらの結合が光誘起屈折率変化を高める。したがって、酸素欠損型欠陥の増大による効果と添加水素の反応により生成された新たな結合( $\text{Ge}-\text{H}$ 等)による効果とが相舞って、紫外光の照射領域では大きな屈折率変化が生じる。

【0026】これにより、コア部に屈折率が局所的に高まった領域が光軸に沿って配列された格子(グレーティング)が形成され、光導波路型回折格子が完成する。この光導波路型回折格子のコア部を進行する光が格子領域に至ると、屈折率変化の周期に対応した特定波長の光成分が十分な反射率で反射されるので、本発明の光導波路型回折格子は光導波路型フィルタとして機能する。

【0027】第1の工程で水素を添加するにあたっては、光導波路を水素雰囲気中で還元処理する方法を探ることができる。この場合、光導波路を構成する石英( $\text{SiO}_2$ )や、これにドーピングされている酸化ゲルマニウム( $\text{GeO}_2$ )が還元され易くなり、 $\text{Ge}$ や $\text{Si}$ と結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生する。結合酸素が一部取り除かれた $\text{Ge}$ や $\text{Si}$ が結合しあえば酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなり、光導波路のコア部における酸素欠損型の欠陥が増大して、紫外光の照射による屈折率変化が高まる。

【0028】これに加えて、紫外光がコア部における複数の所定領域に照射されると、酸素が取り除かれた $\text{Ge}$ や $\text{Si}$ と光導波路に添加された水素とが反応して、 $\text{Ge}-\text{H}$ 、 $\text{Ge}-\text{OH}$ 、 $\text{Si}-\text{H}$ 、 $\text{Si}-\text{OH}$ という結合が

形成され、これらが屈折率変化を高める。したがって、酸素欠損型欠陥の増大による効果と添加水素の反応により生成された新たな結合(Ge-H等)による効果とが相舞って、紫外光の照射領域では大きな屈折率変化が生じる。

【0029】また、第1の工程における光導波路の還元処理について、水素雰囲気中で光導波路を加圧して行うことが効果的である。なお、光導波路に対する圧力は、範囲20~300 atmに含まれていることが好ましい。仮に、この圧力が20 atm未満である場合、光ファイバを構成するガラスと水素との反応が遅いので、生産性が向上しない。仮に、この圧力が300 atmを越える場合、作製設備に高耐圧性が要求されるので、設備費が高騰して実用的でなくなる。

【0030】また、本発明者らの知見によれば、添加される水素の濃度が500 ppm以上であると、紫外光の照射によって、十分な反射率の光導波路型回折格子が得られる。500 ppm以上の添加水素濃度を得るためには、4.17気圧以上の水素雰囲気中で光導波路を加圧すると良い。

【0031】第2の工程における紫外光の照射について、紫外光を干渉させて生じた干渉縞をコア部の所定領域に照射して行うことが容易である。なお、紫外光の干渉縞は、分岐した紫外光の一方をコア部の軸方向に対して第1角度で、他方を第1角度の補角となる第2角度で、共に所定領域に照射して形成されることが適切である。このホログラフィック法によれば、コア部の屈折率変化は、これら二つの分岐光の入射角度に対応した周期で生じる。また、紫外光の干渉縞は、所定期間で配列された格子を有する位相格子に紫外光を位相格子の面方向に対して所定角度で照射して形成されることが適切である。この位相格子法によれば、コア部の屈折率変化は、位相格子の格子配列に対応した周期で生じる。

【0032】また、本発明に係る光導波路型回折格子の作製用光導波路は、光導波路のコア部に水素が添加されているので、コア部における酸素欠損型の欠陥が増大しており、また、これに紫外光が照射されると、Ge-H、Ge-OH、Si-H、Si-OHという結合が形成される。したがって、紫外光の照射領域の屈折率が大きく変化する。このため、この光導波路は、ホログラフィック法や位相格子法などによって紫外光を照射することにより高反射率の光導波路型回折格子となる。

【0033】ここで、コア部に添加されている水素の濃度は、500 ppm以上であるのが適当である。添加水素の濃度が500 ppm以上であると、本発明に係る作製用光導波路は、紫外光の照射により十分な反射率の光導波路型回折格子となる。

【0034】

【実施例】以下、本発明に係る実施例の構成及び作用について、図1~図4を参照して説明する。なお、図面の

説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0035】本発明の実施例に係る光導波路型回折格子の製造方法では、まず、光導波路として光ファイバを用意し、水素添加濃度を監視しながら、水素雰囲気中で光ファイバを加熱して、水素を添加して還元処理する。

【0036】具体的には、図1に示すように、炉心管20内に水素濃度監視用光ファイバケーブル111、112が両端に接続された光ファイバ10を設置し、バルブ21側からバルブ22に向かって水素(H<sub>2</sub>)ガスを気流として通過させつつ、図示しないヒータで炉心管20を高温に加熱する。この際、水素ガスの流量は、バルブ21及び22の開閉によって調節される。この水素添加工程において、波長=1.24 μmの所定の光強度の監視光を発生する光源120から光ファイバケーブル111を介して、光ファイバ10に監視光が入力される。監視光は光ファイバ10を伝搬中に、添加された水素濃度に応じて吸収される。この伝送損失は、具体的には、水素濃度が約20 ppmで1 dB/kmである。光ファイバ10を伝搬した監視光は、光ファイバケーブル112を介して、光検出器130に入力してその光強度が検出される。そして、光源120からの出力光強度と光検出器130での検出光強度との差から、光ファイバ10への添加水素量を求める。

【0037】光ファイバ10は、コア部に酸化ゲルマニウム(GeO<sub>2</sub>)を含む通常の石英系光ファイバであり、本実施例では、被覆のされていない裸光ファイバである。裸光ファイバとするのは、加熱により被覆が損傷、劣化するのを防ぐためである。また、炉心管20内の圧力は、ほぼ1 atmである。

【0038】なお、加熱温度とは、炉心管20内の水素雰囲気中の温度であり、これは炉心管20内に配設された熱電対により測定される。

【0039】上記のような工程によれば、光ファイバ10に添加された水素により光ファイバ10のコア部にドーピングされている酸化ゲルマニウムが還元され易くなり、GeやSiと結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生する。結合酸素が一部取り除かれたGeやSiが結合しあえば、酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなり、光導波路のコア部において通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥が増大する。

【0040】また、上記の水素添加工程では、水素雰囲気中で光ファイバを加圧して還元処理することが可能である。

【0041】具体的には、図1に示すように、炉心管20内に光ファイバ10を設置し、バルブ21を開放すると共にバルブ22を閉塞して水素(H<sub>2</sub>)ガスを流入することにより、炉心管20内を高圧で加圧する。この際、水素ガスの注入量は、バルブ21の開閉によって調

節される。光ファイバ10は、コア部にゲルマニウム(Ge)を含む通常の石英系光ファイバであり、二次被覆までされた光ファイバ心線である。また、水素雰囲気は特に加熱されているわけではないので、炉心管20内の温度は常温のままである。

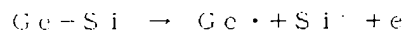
【0042】なお、光ファイバ10に対する圧力は、20atm以上であることが好ましいが、範囲20〜300atmに含まれていることがより好ましい。仮に、この圧力が20atm未満である場合、光ファイバ10を構成するガラスと水素との反応が遅いので、生産性が向上しない。仮に、この圧力が300atmを越える場合、製造設備に高耐圧性が要求されるので、設備費が高騰して実用的でなくなる。

【0043】なお、上記の圧力は炉心管20内部の圧力であり、これは炉心管20に付属の圧力計で測定される。

【0044】上記のような工程によれば、光ファイバ10に添加された水素により光ファイバ10のコア部にドーピングされている酸化ゲルマニウムが還元され易くなりGeやSiと結合している酸素が一部取り除かれる結果、光導波路のコア部において通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥が増大する。

【0045】監視光の伝送損失が500dB/km、すなわち、光ファイバ10への添加水素濃度が10000ppmに達した後、光ファイバ10を炉心管20から取り出し、紫外光の照射を行う。

【0046】具体的には、図2に示すように、干渉機構40を用いて干渉空間50を生成するように、光源30から出射された紫外光を干渉させ、この干渉空間50に\*



で示すように転化する。この反応で放出された電子は転化した欠陥の周辺に位置するGeにトラップされるので、コア部12の光吸収特性が変化する。このような欠陥における吸収スペクトルによると、紫外光照射前には波長240〜250nm付近にピークが現れるが、紫外線照射後には波長210nm付近及び280nm付近にピークが遷移することが確認されている。この遷移によりコア部の屈折率が変化すると考えられている。なお、周知なクラマース・クローニツヒの関係式に基づき、欠陥の吸収スペクトル変化から見積ったコア部12における屈折率変化の値は、反射率の測定値から算出した屈折率変化の値に良く一致している。

【0049】上記第1または第2実施例で還元処理された光ファイバ10のコア部12では、上述したように通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥が増大しているので、紫外光の露光領域における屈折率変化が大きくなる。これに加えて、紫外光がコア部に照射されると、酸素が取り除かれたGeやSi、あるいは通常のGe-Si※

$$\Delta = \lambda / (2 \sin \theta)$$

\* 光ファイバ10を設置する。光源30は、SHG（高調波発生器）アルゴンレーザやKrFエキシマレーザ等であり、所定波長を有するコヒーレントな紫外光を出射する。干渉機構40は、ビームスプリッタ41及びミラー42、43で構成されている。ビームスプリッタ41は、光源30からの紫外光を二つの分岐光に二分岐させる。ミラー42及び43は、ビームスプリッタ41からの分岐光をそれぞれ反射し、光ファイバ10の軸方向に対して所定角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ でそれぞれ入射して共面ビームとして相互に干渉させる。光ファイバ10は、シリカガラスからなるクラッド部11及びコア部12で構成されている。コア部12は、上述したように酸化ゲルマニウムがドーピングされており、クラッド部11と比較して高屈折率を有する。なお、二つの分岐光の入射角度 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は相互に補角であり、これらの和( $\theta_1 + \theta_2$ )は180°になる。

【0047】このような工程によれば、光ファイバ10に所定波長の紫外光を照射するので、酸化ゲルマニウムをドーピングしたコア部12における露光領域の屈折率に変化する。現在、このような紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、これを説明するものとして、クラマース・クローニツヒ機構、双極子モデル及び圧縮モデルなどが一般に提案されている。ここでは、クラマース・クローニツヒ機構に基づいて説明を行う。

【0048】光ファイバ10内のコア部12には、Geに関連した酸素欠損型の欠陥が通常わずかに存在している。ここで、欠陥をGe-Siの中性酸素モノ空孔で代表すると、その欠陥は紫外光照射によって

$$(1)$$

※O-Siのような結合と、光導波路に添加された水素とが反応して、Ge-H、Ge-OH、Si-H、Si-OHという結合が形成される。本出願の発明者らは、これらの結合が新たな光吸収帯を形成することにより、紫外光照射による屈折率変化が高まると推察する。したがって、本発明の方法によれば、酸素欠損型欠陥の増大による効果と添加水素の反応により生成された新たな結合(Ge-H等)による効果とが相舞って、紫外光の露光領域における屈折率変化が10〜100程度に大きくなる。

【0050】本実施例では、二つのコヒーレントな紫外光を光ファイバ10の軸方向に対する角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ( $=180^\circ - \theta_1$ )で入射して干渉させている。そのため、光ファイバ10の径方向に対するコヒーレントな紫外光の入射角度 $\theta$ ( $=90^\circ - \theta_1$ )と紫外光の波長 $\lambda$ とを用い、干渉空間50における干渉縞の間隔 $\Delta$ は、

$$(2)$$

ここで、 $\Delta$ は干渉縞の間隔、 $\lambda$ は紫外光の波長、 $\theta$ は光ファイバ10の径方向に対する紫外光の入射角度、 $n$ は光ファイバ10の屈折率である。

ファイバ10の軸方向に配列されるので、格子13が形成されることになる。

【0051】周知なブラッグの回折条件に基づいてコア\*

$$\lambda_r = 2n\Lambda \\ = \lambda n / \sin \theta$$

となる。また、格子13の長さLと屈折率差 $\Delta n$ を用※

$$R = \tanh^2 (L\pi\Delta n / \lambda_r)$$

となる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が10<sup>-1</sup>～10<sup>-2</sup>程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長 $\lambda_r$ の反射率が100

【0052】なお、このようなホログラフィック法では、光源30としては干渉性の良好なレーザが必要である。また、高精度の位置調整や安定性が必要となる。

【0053】上記のホログラフィック法に替えて、紫外光を位相格子を介して干渉させつつ照射し、屈折率が光軸に沿って所定期間で変化した領域を形成する位相格子法を使用することが可能である。

【0054】図3は、位相格子法の説明図である。図3に示すように、光ファイバ10を位相格子60に隣接して設置し、光源30から出射された紫外光を位相格子60表面の法線方向に対して所定角度 $\theta$ で入射させる。光源30は、SHGアルゴンレーザやKrfエキシマレーザ等であり、これらは所定波長を有するコヒーレントな紫外光を出射する。位相格子60は、所定期間で格子を配列して形成されている。光ファイバ10は、シリカガラスからなるクラッド部11及びコア部12で構成されている。コア部12は、上述したように酸化ゲルマニウム★

$$\Lambda = \Lambda' / 2$$

となる。したがって、コア部12の露光領域には、異なる屈折率を有する領域が干渉縞の間隔 $\Lambda$ を周期として光ファイバ10の軸方向に配列されるので、格子13が形成されることになる。

$$\lambda_r = 2n\Lambda \\ = n\Lambda'$$

となる。また、格子13の長さLと屈折率差 $\Delta n$ を用い、このファイバ型回折格子の反射率Rは、上述した式(4)に示すようになる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が10<sup>-1</sup>～10<sup>-2</sup>程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長 $\lambda_r$ の反射率が100%近い値に達する。

【0059】なお、このような位相格子法によれば、上述したホログラフィック法に要求される位置調整や安定性の条件が緩和される。また、通常のリソグラフィ技術や化学エッチングにより、格子の周期を自由に選択することができるので、複雑な形状も実現可能である。

【0060】こうして得たファイバ型回折格子の反射率測定を行った。図4は、反射率測定システム構成図である。図4に示すように、このシステムは、光源70、光ファイバ10及び光スペクトルアナライザ90を光カ

\*部12の屈折率nと格子13の周期 $\Lambda$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射波長 $\lambda_r$ は、

(3)

※い、このファイバ型回折格子の反射率Rは、

(4)

★ムがドーブされており、クラッド部11と比較して高屈折率を有する。

【0055】このような工程によれば、光ファイバ10に所定波長の紫外光を照射するので、酸化ゲルマニウムをドーブしたコア部12における露光領域の屈折率に変化する。現在、このような紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、この屈折率変化には、ファイバ10のコア部12に通常わずかに存在しているGeに関連した酸素欠損型の欠陥が関与していると、一般に推定されている。これを説明するクラマース・クローニッヒ機構については、上記第3実施例において説明している。

【0056】ここで、還元処理された光ファイバ10のコア部12では、通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥が増大しているので、紫外光の露光領域における屈折率変化が大きくなる。

【0057】また、格子が所定間隔 $\Lambda'$ で配列された位相格子60表面の法線方向に対して紫外光を角度 $\theta$ で照射して干渉させている。そのため、コア部12の露光領域における干渉縞の間隔 $\Lambda$ は、

(5)

【0058】周知なブラッグの回折条件に基づいてコア部12の屈折率nと格子13の周期 $\Lambda$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射波長 $\lambda_r$ は、

(6)

ブラ80で光結合して構成されている。光ファイバ10は、上記の実施例で形成した格子(グレーティング)13を有するファイバ型回折格子である。光源70は通常の発光ダイオード等であり、光ファイバ10における反射波長 $\lambda_r$ を有する光成分を含む光を出射する。光カブラ80は通常の溶融延伸型ファイバカブラであり、光源70からの入射光を光ファイバ10に出力すると共に光ファイバ10からの反射光を光スペクトルアナライザ90に出力する。光スペクトルアナライザ90は、光ファイバ10からの反射光における波長と光強度との関係を検出する。なお、光ファイバ10の開放端は、マッチングオイル100中に浸されている。このマッチングオイル100は、通常の屈折率整合液であり、不要な反射光成分を除去している。

【0061】このような構成によれば、光源70から出

射された光は、光カプラ80を介して光ファイバ10に入射する。光ファイバ10では、コア部12に形成されている格子13が特定波長の光成分を反射する。光ファイバ10から出射された光は、光カプラ80を介して光スペクトルアナライザ90で受光される。光スペクトルアナライザ90では、波長と光強度とからなる光ファイバ10の反射スペクトルが検出される。測定の結果、反射率は99%と良好であった。

【0062】本出願の発明者らは、光導波路内に添加される水素の濃度に着目した。すなわち、水素が添加された光導波路に紫外光が照射されると、添加水素が光導波路材料中のゲルマニウム、シリカ、酸素と反応して、 $\text{Ge-H}$ 、 $\text{Ge-OH}$ 、 $\text{Si-H}$ 、 $\text{Si-OH}$ という新たな結合を形成する。ここで、本出願の発明者らは、これらの結合が新たな光吸収帯を形成することに起因して、光導波路のコア部に水素を添加することにより、紫外光照射による屈折率変化が高まることを見出した。

【0063】水素の添加による屈折率変化は、光導波路のコア部に添加される水素の量が多い程、大きくなると推察される。そこで、本発明者らは、様々な濃度の水素を光ファイバのコア部に添加してから、紫外光を照射し、得られたファイバ型回折格子の反射率を調べて、水素の添加濃度とその効果との関係进行调查した。

【0064】図5は、調査結果を示すグラフである。このグラフに示されるように、水素( $\text{H}_2$ )無添加の光ファイバでは反射率は20%であるが、コア部に添加された水素濃度が増加するにつれて反射率が上昇し、500ppmで反射率30%、1000ppmで反射率50%、3000ppm以上では反射率99%に達することが分かった。なお、1ppmは、1モルの $\text{SiO}_2$ に10<sup>-6</sup>モルの水素が含まれていることを表す。

Solubility of hydrogen. Fictive temperature 1100°C ("dry" samples).  
Rod diameter 1 mm.

| T. K | $S \cdot 10^{-17}$<br>molecules/cm <sup>3</sup> · atm | T. K | $S \cdot 10^{-17}$<br>molecules/cm <sup>3</sup> · atm |
|------|---|------|---|
| 582  | 4.53  | 680  | 3.33  |
| 583  | 4.84  | 720  | 3.21  |
| 631  | 3.67  | 721  | 3.28  |
| 631  | 3.68  | 765  | 2.80  |
| 675  | 3.50  | 766  | 2.90  |

【0069】水素濃度推定に当たっては、まず、表1のデータに基づき、温度と拡散度との関係を比例関係と見なし、最小二乗法を用いて、ほぼ常温の20°C(293K)における石英ガラスに対する水素の溶解度を算出する。これをppm単位に換算すると、20℃における飽和水素濃度が約121ppmと求まる。

【0070】ゲルマニウムがドーピングされたコアを有する20℃の光ファイバに関して、波長1.24μm光の水素分子による吸収損失は約6dB/kmであることが分

【0065】次に、紫外光を照射して反射率が飽和するまでの照射時間の水素濃度依存性を調べた。図6は、この結果を示すグラフである。このグラフに示されるように、水素濃度の増加とともに必要な照射時間は減少し、20000ppmにおいて10分まで短縮される。これは、水素無添加の光ファイバに要する時間のほぼ20分の1に相当する。さらに高濃度では、照射時間が短くなり、48000ppmで1分となったところで照射時間の短縮化傾向が飽和した。

【0066】以上の結果によれば、コア部の水素濃度が500ppm以上であると、反射率上昇の効果が著しい。さらに、50%以上の反射率を得るためには、水素濃度が1000ppm以上であることが、また、90%以上の極めて高い反射率を得るためには、水素濃度が2000ppm以上であることが必要である。さらに高い反射率99%を得るためには、水素濃度が3000ppm以上であることが必要である。一方、水素濃度が48000ppm以上では紫外光照射時間の短縮効果が飽和しており、反射率上昇の効果も既に飽和しているので、これ以上水素添加濃度を増やしても意義は少ないと思われる。したがって、光導波路のコア部に含まれる水素の濃度は、約500ppm以上であることが好ましく、特に、約500~約48000ppmの範囲にあることが適当である。

【0067】なお、上記の水素濃度は以下の方法により推定されたものである。次の表1は、この水素濃度推定に当たって用いるもので、ロッド径1mmの石英ガラスへの水素の溶解度を示すものである。

【0068】

【表1】

で、吸収損失1dB/km当たりの水素濃度は、 $121/6 \approx 20 \text{ ppm} / (\text{dB/km})$ と求まる。

【0071】続いて、水素が添加された光ファイバ(温度20℃)の損失スペクトルを測定し、水素分子に起因する波長1.24μmの吸収ピークが示す損失値[dB/km]を求める。この損失値に吸収損失1dB/km当たりの水素濃度20ppm/(dB/km)を掛けることにより、添加水素濃度「ppm」が求まる。すなわち、1.24μm光の損失値を20倍したものが上記し



た添加水素濃度の推定値である。

【0072】図7は、水素雰囲気中の圧力、すなわち光ファイバに対する加圧圧力と、添加される水素濃度との関係を示すグラフである。このグラフに示されるように、加圧圧力と添加水素濃度とは、ほぼ比例関係にある。グラフの通り、500ppmを添加するには約4.17atmの圧力が必要であり、48000ppmを添加するには約400atmの圧力が必要である。したがって、加圧圧力は、約4.17atm以上であることが好ましく、特に、約4.17～約400atmの範囲にあることが適当である。

【0073】また、反射率50%以上を得るためには約8.34atm以上の圧力が、反射率90%以上を得るためには約16.7atm以上の圧力が適当であり、反射率99%以上を得るためには約25.0atm以上の圧力が適当である。

【0074】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の光導波路型回折格子の作製方法によれば、添加水素濃度を監視しながら光導波路のコア部に水素を添加し、続いて、水素添加濃度が所定の濃度に達した後、紫外光が光ファイバの所定領域のコア部に照射されるので、酸素欠損型の欠陥の量や水素との反応により生成される新しい結合が制御される。これらによって、前記所定領域では所望の屈折率変化が生じる。

【0075】これにより、光導波路のコア部に屈折率が所望の量だけ変化した領域を光軸に沿って配列して格子（グレーティング）を形成することができるので、この

光導波路を進行する光のうち、屈折率変化の周期に対応した特定波長の光成分が所望の反射率で反射される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るファイバ型回折格子の作製方法における第1の工程を示す構成図である。

【図2】本発明に係るファイバ型回折格子の作製方法における第2の工程を示す構成図である。

【図3】本発明に係るファイバ型回折格子の作製方法における第2の工程を示す構成図である。

【図4】本発明に係る作製方法で形成されたファイバ型回折格子における反射率測定を行うシステムを示す構成図である。

【図5】光ファイバに添加する水素の濃度と得られるファイバ型回折格子の反射率との関係を示すグラフである。

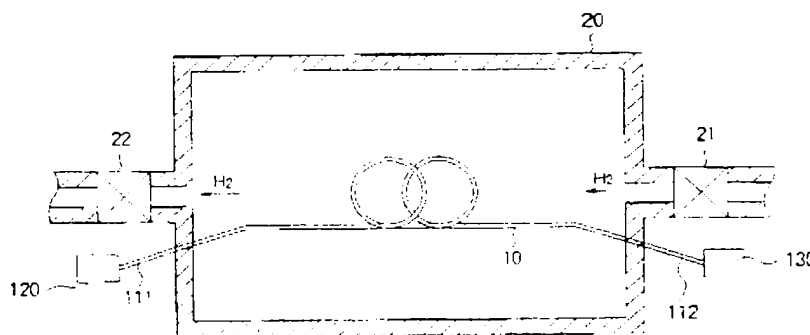
【図6】光ファイバに添加する水素の濃度と反射率が飽和するまでの紫外光照射時間との関係を示すグラフである。

【図7】水素雰囲気中の圧力と光ファイバに添加される水素の濃度との関係を示すグラフである。

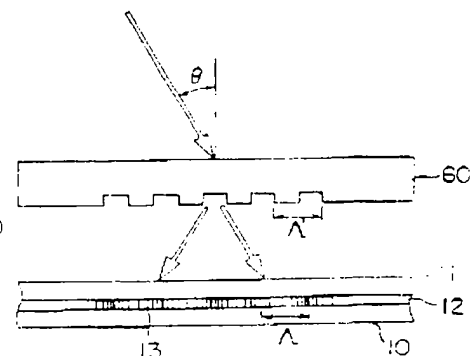
【符号の説明】

10…光ファイバ、11…クラッド部、12…コア部、13…格子、20…中心管、21、22…バルブ、30、70…光源、40…干渉機構、41…ビームスプリッタ、42、43…ミラー、50…干渉空間、60…位相格子、80…光カプラ、90…光スペクトルアナライザ、100…マッチングオイル、111、112…光ファイバケーブル、120…光源、130…光検出器。

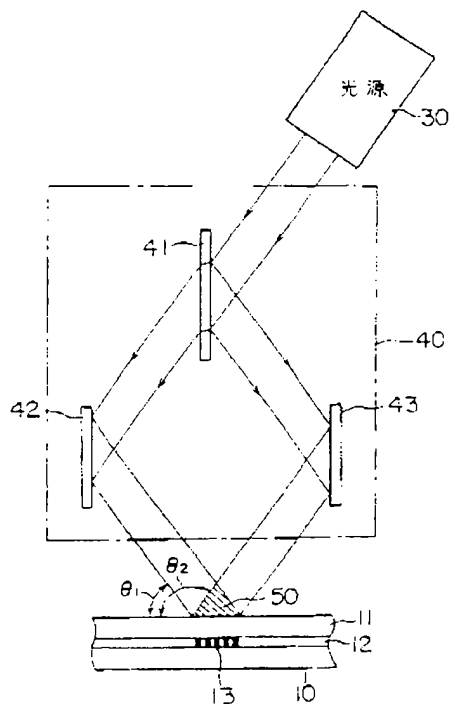
【図1】



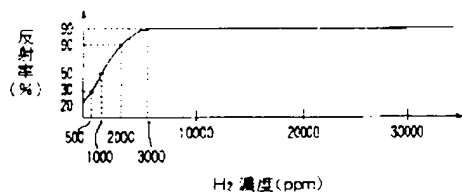
【図3】



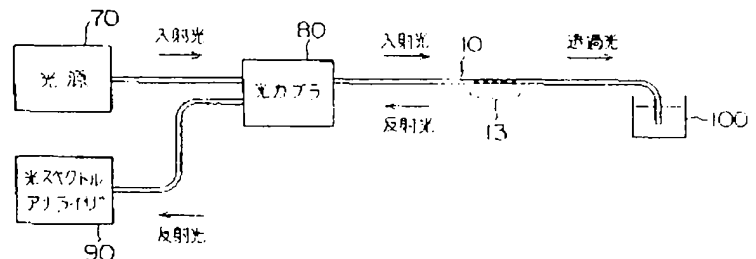
【図2】



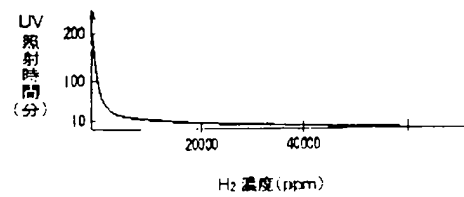
【図5】



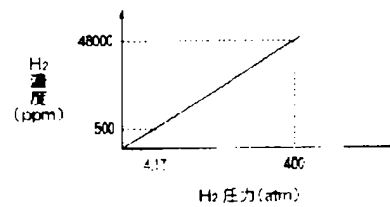
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 亨

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 茂原 政一

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内